



Potensi rumput vetiver (*Chrysopongon zizanioides* L.) dan kangkung (*Ipomoea aquatica* Forsk.) sebagai agen fitoremediasi limbah industri kayu

Potential of vetiver (chrysopongon zizanioides l.) and kangkung (ipomoea aquatica forsk.) for agent phytoremediation of wood industry waste

Ahmad Jamhari Rahmawan^a, Hefni Effendi^{b,c}, Suprihatin^d

^a Research and Development, PT Sumber Graha Sejahtera Unit Balaraja, Jl Raya Serang KM 25 Balaraja, Tangerang, 15610, Indonesia.

^b Departemen Managemen dan Sumber Daya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia.

^c Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Lembaga Penelitian dan Pengembangan kepada Masyarakat (PPLH-LPPM), Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia.

^d Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknik Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia.

Article Info:

Received: 06 - 05 - 2018

Accepted: 16 - 05 - 2019

Keywords:

Phenol, growth rate, correlation, mathematical models.

Corresponding Author:

Ahmad Jamhari Rahmawan
Research and Development, PT
Sumber Graha Sejahtera Unit
Balaraja, Jl Raya Serang KM 25
Balaraja, Tangerang, 15610,
Indonesia;
Email: jamharigtm@gmail.com

Abstract: Wood industry produces a large amount of waste water that contains various pollutants. These pollutants are mostly dangerous for the environment. This research work aims to analyze the ability of phytoremediation for reducing pollutants in wood industrial waste water. These experiments use *Chrysopongon zizanioides* L. and *Ipomoea aquatica* Forsk as phytoremediation agents. The ability was evaluated from the improved quality of wood industrial wastewater and the growth rate of *C. zizanioides* (L.) and *I. aquatica* Forsk in wood industrial wastewater. Analysis was conducted by measuring the removal efficiency of pollutants in wood industrial wastewater, the correlation between the reduced pollutants concentrations in the waste water and plant growth rate. Furthermore, a mathematical model is developed to predict the potential of *C. zizanioides* (L.) and *I. aquatica* Forsk for wood industrial wastewater. The result showed that *C. zizanioides* L. and *I. aquatica* Forsk were potential phytoremediation agent. The removal efficiency for *C. zizanioides* L. and *I. aquatica* Forsk are respectively as follows: 66.19% and 41.18%, TSS 58.51% and 45.38%, COD 70.07% and 40.37%, Total Amonia Nitrogen (TAN) 63.70% and 66.96%, NH_3 96.16% and 88.79%, and PO_4^{3-} 53.90% and 38.38%. Relative Growth Rate (RGR) of *C. zizanioides* (0.011 ± 0.002 g/day) is better than *I. aquatica* Forsk (0.007 ± 0.001 g/day). Daily Growth Rate (DGR) of *C. zizanioides* (0.019 ± 0.003 cm/day) is better than *I. aquatica* Forsk (0.012 ± 0.006 cm/day). TSS, COD, NH_3 , NO_3^- , and phenol have a negative correlation to plant growth (based on wet weight and root length). The developed mathematical models can be used to predict the phytoremediation potential of *C. zizanioides* (L.) and *I. aquatica* Forsk in degrading COD, TSS, and phenols of wood industrial waste.

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Rahmawana AJ, Effendi H, Suprihatin. Potensi rumput vetiver (*Chrysopongon zizanioides* L.) dan kangkung (*Ipomoea aquatica* Forsk.) sebagai agen fitoremediasi limbah industri kayu. JPSL 9(4): 904-919. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.4.904-919>.

PENDAHULUAN

Limbah industri kayu terdiri dari 3 jenis, yaitu limbah padatan, limbah udara, dan limbah cair. Limbah cair yang dihasilkan dalam proses produksi kayu lapis secara umum berasal dari pencucian mesin *glue spreader* dan peralatan produksi lainnya, sehingga komposisi yang terkandung dalam limbah cair yang dihasilkan tergantung jenis perekat yang digunakan. PT Sumber Graha Sejahtera merupakan perusahaan kayu lapis yang menggunakan bahan perekat urea formaldehida dan fenol formaldehida, sehingga jenis limbah cair yang dihasilkan mengandung fenol.

Fenol merupakan salah satu polutan dalam limbah cair industri kayu yang berpotensi mengganggu lingkungan. Keberadaan fenol di air dapat menimbulkan bau tidak sedap, bersifat racun dan korosif, menyebabkan gangguan kesehatan manusia dan kematian pada organisme. Dengan demikian, pemulihan fenol pada limbah cair industri perlu dilakukan sebelum dibuang keperairan luas.

Metode yang banyak digunakan dalam pemulihan fenol adalah ekstraksi pelarut, adsorpsi menggunakan karbon aktif, oksidasi kimia dan degradasi mikroba (Klibanov *et al.* 1983). Metode pemulihan limbah cair PT Sumber Graha Sejahtera saat ini adalah dengan tiga tahapan, yaitu secara kimia, mekanis (penyaringan), dan biologis (mikroorganisme). Metode tersebut memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah membutuhkan biaya yang tinggi dan kurang efektif pada beberapa kondisi. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih mendalam untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Fitoremediasi dengan tanaman merupakan pendekatan secara biologis dalam memulihkan media lingkungan baik tanah maupun perairan yang murah, ramah lingkungan, mampu mereduksi volume kontaminan, serta memberikan keuntungan bagi kesehatan masyarakat (Terry and Banuelos 2010). Tanaman mempunyai kemampuan menyerap, mengakumulasi, memanipulasi, dan mendetoksifikasi polutan organik atau anorganik. Beberapa polutan dapat digunakan dalam proses fisiologis tanaman. Beberapa penelitian menunjukkan, tanaman yang memiliki akar berbulu seperti *Daucus carota* (Araujo *et al.* 2002), *Brassica napus* (Agostini *et al.* 2003) dan *Brassica juncea* (Singh *et al.* 2006) memproduksi Peroksidase telah digunakan dan terbukti menghilangkan fenol atau turunannya dari larutan.

Contoh tanaman yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi adalah vetiver (*Crysopogon zizanioides* L.) dan kangkung (*Ipomoea aquatica* Forsk). Vetiver dilaporkan memiliki kemampuan dalam mereduksi material organik seperti COD, BOD, amonia, dan juga logam seperti Zn (90%), As (60%), Pb (30-71%), Hg (13-15%), serta fenol (100-100 mg L⁻¹) (Truong 2000; Singh *et al.* 2008). Kangkung memiliki kemampuan dalam mereduksi kebutuhan oksigen secara biologis (BOD), permintaan oksigen kimia (COD), padatan tersuspensi total (TSS), Klorofil 'A' dan logam seperti Cd dan Cr serta nutrisi seperti N dan P Dari limbah cair (Hu *et al.* 2008; Wang *et al.* 2008; Chen *et al.* 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi tanaman vetiver dan kangkung sebagai agen fitoremediasi dalam menyisikan polutan limbah cair industri kayu, memprediksi tren potensi tanaman vetiver dan kangkung untuk limbah cair industri kayu dengan model matematika, serta menganalisis korelasi polutan dan laju pertumbuhan tanaman.

METODE

Bahan Penelitian

Akar *C. zizanioides* (L.) direndam dalam larutan 0.3% hidrogen peroksida selama 20 menit, kemudian dibilas dengan akuades (Aibibu *et al.* 2010). Tanaman dipilih berdasarkan perkiraan umur yang sama, memiliki tinggi antara 10-15 cm kemudian ditimbang bobotnya sekitar 30 gram/rumpun.

Benih *I. aquatica* Forsk disterilkan dengan larutan H₂O₂ 10% Selama 15 menit lalu dicuci dengan akuades, Selanjutnya benih direndam dalam akuades selama 8 jam pada suhu 50 °C dan dicuci dengan akuades (Hu *et al.* 2008). Benih ditabur pada spon yang terdapat pada nampan dan ditutup dengan kain hitam. Perkecambahan ini dilakukan pada kondisi gelap selama 3 hari. Benih yang layak berkecambah diberi

penyinaran matahari pagi hari. Ketika bibit memiliki panjang 5 cm dipindahkan pada sistem hidroponik. Tanaman dipilih berdasarkan panjang (12 ± 2 cm) dan berat yang sama (12 ± 5 g/rumpun).

Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi kualitas air berdasarkan kondisi beberapa parameternya (Suhu, TSS, pH, COD, TAN, NH_3 , NH_4^+ , NO_3 , PO_4 , dan Fenol), penyisihan polutan, serta laju pertumbuhan tanaman. Penentuan parameter kualitas air didasarkan pada KLHK No 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Analisis kualitas air dilakukan berdasarkan Standard APHA (2012). Pengamatan dan pengumpulan data dilakukan satu minggu sekali selama empat minggu (0, 7, 14, 21, dan 28 hari).

Penghitungan konsentrasi amonia NH_3 dan NH_4^+ dilakukan berdasarkan data total amonia nitrogen (TAN) yang diperoleh dengan melibatkan nilai pKa (Tabel 1) dan pH (Strickland and Parsons 1972).

Tabel 1 Nilai pKa Berdasarkan Nilai Suhu.

Suhu (°C)	5	10	15	20	25	30
pKa	9.90	9.73	9.56	9.40	9.24	9.09

$$\text{NH}_4^+ (\text{mg/L}) = \frac{\text{TAN}}{1 + \text{antilog}(\text{pKa} - \text{pH})}$$

$$\text{NH}_3 (\text{mg/L}) = \text{TAN} - \text{NH}_4^+$$

Metode Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis statistik, penyisihan polutan, model matematika, laju pertumbuhan tanaman, dan korelasi pearson. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental di laboratorium dengan rancangan percobaan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) *in time*. Mengacu pada beberapa penelitian sebelumnya (Singh *et al.* 2008; Lee *et al.* 2017; Jampeetong *et al.* 2012), peubah yang digunakan adalah jenis tanaman dengan 3 perlakuan (kontrol, akar wangi dan kangkung air), masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali. Sedangkan pengamatan dilakukan sebanyak 5 kali, yaitu saat dimulai (hari ke-0), hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21, dan hari ke-28.

Laju pertumbuhan tanaman yang diamati dalam penelitian ini meliputi perubahan berat dan panjang akar tanaman selama periode pengamatan. Pengamatan laju pertumbuhan berat tanaman ditentukan berdasarkan persamaan Hunt (2017), sebagai berikut:

$$\text{RGR} = \frac{\ln W_i - \ln W_0}{t_i - t_0}$$

Dimana RGR : Laju pertumbuhan relatif tanaman, W_i : Berat basah tanaman setelah perlakuan (hari ke 28), dan W_0 : Berat basah tanaman sebelum perlakuan (hari ke-0)

Pengamatan laju pertumbuhan panjang akar tanaman dilakukan berdasarkan persamaan Ridha dan Cruz (2001) sebagai berikut:

$$\text{DGR} = \frac{\ln H_i - \ln H_0}{t_i - t_0}$$

Dimana RGR : Laju pertumbuhan akar tanaman, W_i : Panjang akar tanaman setelah perlakuan (hari ke 28), dan W_0 : Panjang akar tanaman sebelum perlakuan (hari ke-0).

Penyisihan polutan limbah cair selama periode pengamatan, dihitung dengan menggunakan rumus *Removal efficiency* sebagai berikut (Khan *et al.* 2009):

$$R = \left(\frac{I - F}{I} \right) \times 100\%$$

Dimana R : *Removal efficiency* (%), I : Konsentrasi parameter awal, dan F : Konsentrasi parameter akhir

Model matematika digunakan untuk mengetahui tren potensi tanaman vetiver dan kangkung dalam penyisihan polutan dilakukan dengan menggunakan model matematika berdasarkan persamaan Kumar *et al.* (2005):

$$P = P_0 \exp (\mu t)$$

Dimana P adalah potensi fitoremediasi tanaman pada waktu t (0, 7, 14, 21, dan 28 hari). μ adalah konstanta, dicari berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\mu_i = \{\ln(P_i/P_0)\}/t_i, \text{ dimana } i = 1, 2, 3, \dots N$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_i}{N}$$

Korelasi pearson digunakan untuk mengetahui korelasi antara polutan dan laju pertumbuhan tanaman. Analisis korelasi pearson dilakukan berdasarkan persamaan:

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}}$$

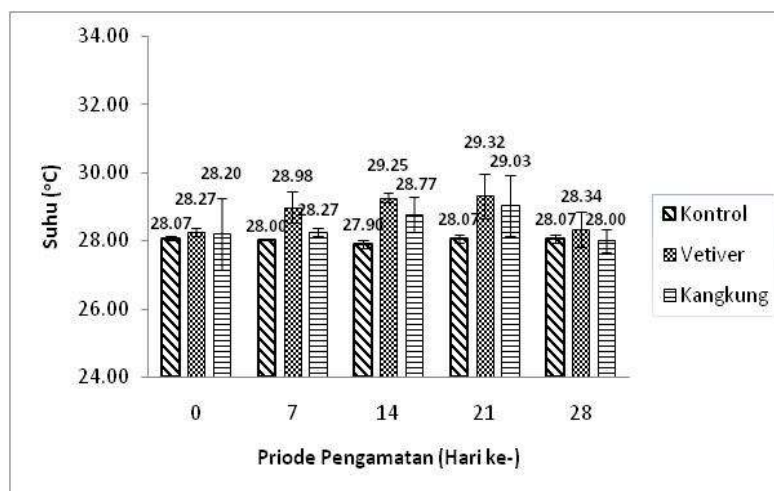
Dimana r : Koefisien korelasi pearson, x : Variable x, dan y : Variable y.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyisihan Polutan

Suhu

Suhu merupakan faktor yang berpengaruh terhadap proses fitoremediasi, pertumbuhan tanaman serta proses dekomposisi bahan organik (Effendi *et al.* 2015). Selain itu, suhu juga berpengaruh terhadap proses nitrifikasi. Menurut Crab *et al* (2007) proses nitrifikasi akan berlangsung baik pada suhu 25-35 °C, karena pada kisaran tersebut bakteri nitrifikasi dapat tumbuh dengan baik.

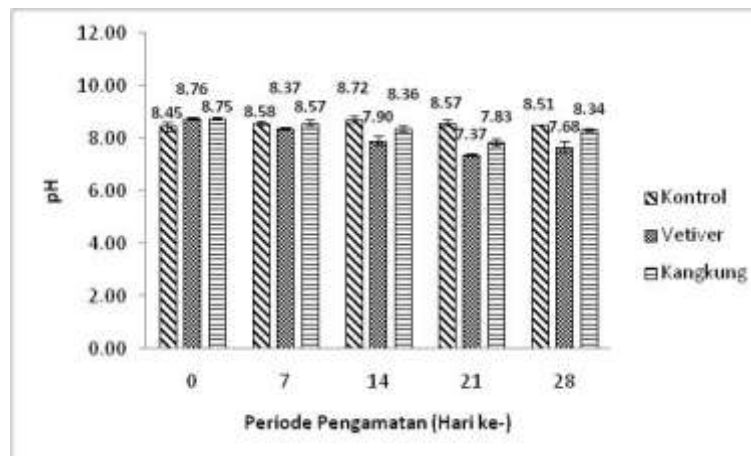


Gambar 1 Perubahan parameter kualitas air suhu.

Suhu limbah cair selama pengamatan pada perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 28-28.07 °C, 28.27-29.32 °C, dan 28-29.03 °C (Gambar 1). Tanaman vetiver dapat tumbuh dengan baik pada suhu 17.27°C (Surtiningsih. 2009) dan tanaman kangkung 25-30 °C (Indah *et al.* 2014). Kondisi suhu selama penelitian optimal untuk tanaman vetiver dan kangkung. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa tanaman vetiver dan kangkung memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0.05$).

pH

pH atau derajat keasaman menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan dari suatu larutan dengan cara mengukur konsentrasi ion hidrogen (H^+) yang terdapat pada larutan tersebut. pH dalam limbah industri mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan degradasi senyawa organik (Effendi. 2003).



Gambar 2 Perubahan parameter kualitas air pH.

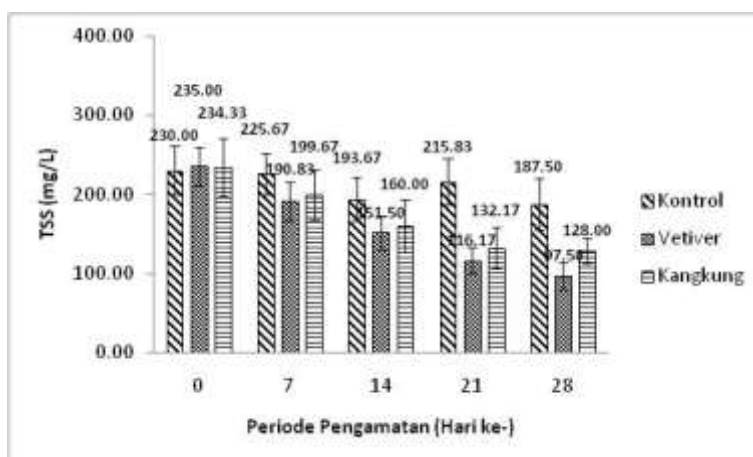
pH limbah cair selama pengamatan pada perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 7.83-8.75, 7.37-8.76, dan 8.51-8.72 (Gambar 2). Nilai tersebut sesuai baku mutu limbah untuk industri kayu lapis yang mensyaratkan nilai pH berkisar antara 6-9 (KLHK No 5 tahun 2014). Tanaman vetiver dapat tumbuh pada kondisi lingkungan dengan pH 6-9 (Sighet *et al.* 2014) dan tanaman kangkung 5.5-7 (Lestari. 2013). Kondisi pH selama penelitian kurang optimal untuk tanaman kangkung, sehingga pertumbuhan kangkung cenderung lebih lambat dibandingkan vetiver.

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa tanaman vetiver dan kangkung memberikan pengaruh berbeda nyata ($p < 0.05$) terhadap perubahan pH pada limbah industri. Meningkatnya nilai pH disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman (Effendi. 2003). Sedangkan penurunan pH dapat terjadi karena ion H^+ yang disebabkan oleh pembusukan bagian tanaman yang rontok, dan proses oksidasi pembentukan sulfat (Rahadian *et al.* 2017).

Total Suspended Solid (TSS)

TSS adalah padatan tersuspensi yang terdapat pada limbah dengan ukuran kurang dari 0.45 mikron (Mulia, 2005). Material tersuspensi dapat mengakibatkan kekeruhan yang dapat menghalangi cahaya matahari masuk ke dalam tanaman air (Purnamawati, 2015).

Konsentrasi TSS selama pengamatan berkisar antara 97.50-235.00 mg/L relatif menurun (Gambar 3). Pada akhir pengamatan (hari ke-28) konsentrasi TSS perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 187.50 mg/L, 97.50 mg/L, dan 128.00 mg/L. Nilai tersebut diatas baku mutu yang mensyaratkan nilai TSS kurang dari 50 mg/L (KLHK No 5 tahun 2014). Penurunan konsentrasi TSS disebabkan oleh penguraian senyawa organik secara alamiah dan penyerapan oleh tanaman. Menurut Fachrurrozi *et al.* (2010) pengurangan nilai TSS disebabkan karena partikel dengan massa yang cukup berat akan mengendap pada bagian reaktor, sedangkan yang cukup ringan dan melayang akan menempel pada bagian akar.

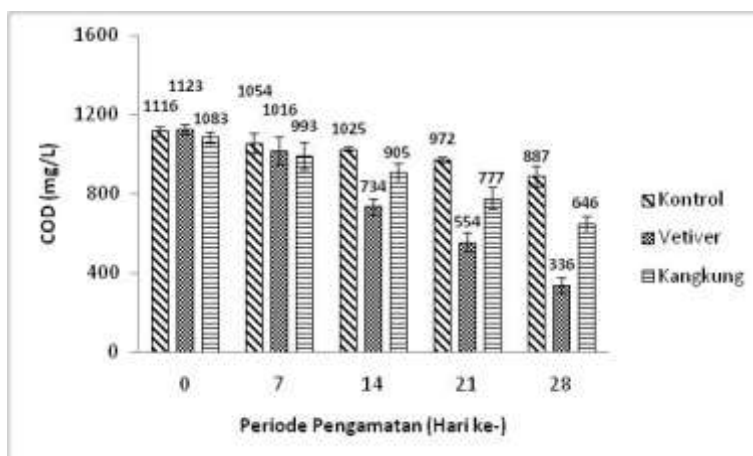


Gambar 3 Perubahan parameter kualitas air TSS.

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa tanaman vetiver dan kangkung memberikan pengaruh yang tidak signifikan ($p > 0.05$), namun berpengaruh signifikan ($p < 0.05$) dengan kontrol. Pemanfaatan tanaman vetiver dan kangkung sebagai agen fitoremediasi efektif dalam menurunkan konsentrasi TSS dalam limbah cair. Nilai *removal efficiency* pada perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 18.48%, 58.51%, dan 45.38%.

Chemical Oxygen Demand (COD)

COD adalah nilai yang menunjukkan jumlah oksigen untuk mengoksidasi senyawa organik yang terdapat pada 1 liter larutan (Alaerts dan Santika, 1987) yang dinyatakan dalam satuan mg/l. Menurut Mulia (2005), senyawa organik dalam COD meliputi senyawa yang dapat diolah secara biologis (biodegradable) dan tidak dapat diolah secara biologis (non-biodegradable).



Gambar 4 Perubahan parameter kualitas air COD.

Konsentrasi COD selama pengamatan adalah 336 - 1123 mg/L dan cenderung menurun pada semua perlakuan (Gambar 4). Pada akhir pengamatan (hari ke-28) konsentrasi COD perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 887 mg/L, 336 mg/L, dan 646 mg/L. Nilai tersebut diatas baku mutu air limbah industri kayu lapis yang mensyaratkan nilai COD kurang dari 125 mg/L (KLHK No 5 tahun 2014). Penurunan konsentrasi COD diduga karena adanya proses penguraian senyawa organik secara alamiah dan penyerapan oleh tanaman pada limbah cair. Rahadian *et al* (2017) menyatakan oksigen dalam limbah cair digunakan dalam proses oksidasi senyawa organik menjadi senyawa yang sederhana, sehingga mudah diserap oleh tanaman. Menurut Gunawan (2009) akar tanaman memegang peranan penting dalam mengurangi atau menyerap kandungan BOD dan COD.

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh signifikan ($p < 0.05$). Pemanfaatan tanaman vetiver dan kangkung sebagai agen fitoremediasi efektif dalam menurunkan konsentrasi COD dalam limbah cair. Nilai *removal efficiency* COD pada perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 20.54%, 40.37%, dan 70.07%.

Total Amonia Nitrogen (TAN)

Amonia di perairan dapat berasal dari dekomposisi bahan organik yang banyak mengandung senyawa nitrogen (protein). Ammonia yang terukur dalam penelitian adalah ammonia total yang terdiri atas NH_3 dan NH_4^+ .

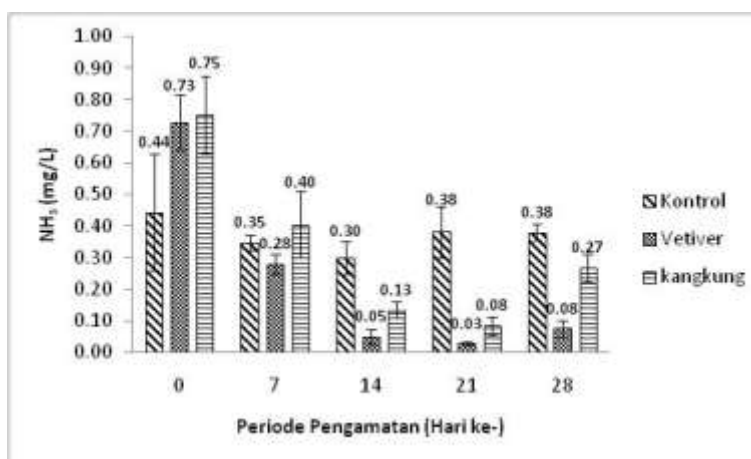
Konsentrasi ammonia total selama periode pengamatan berkisar antara 0.86-2.61 mg/L. Pada akhir pengamatan (hari ke-28) konsentrasi TAN perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 2.05 mg/L, 1.98 mg/L, dan 1.94 mg/L. Nilai tersebut dibawah baku mutu limbah industri kayu lapis yang mensyaratkan nilai ammonia total kurang dari 4 mg/L (KLHK No 5 tahun 2014). Dekomposisi bahan organik yang mengandung nitrogen umumnya dilakukan oleh mikroba. Reduksi ammonia terjadi melalui proses oksidasi ammonia menjadi ammonium, nitrit, dan nitrat (nitrifikasi) pada kondisi aerob dengan bantuan bakteri *Nitrobacter* (Crab *et al.* 2007). Proses nitrifikasi akan berjalan dengan baik pada suhu 25-35 °C dan pH 7,5-8,6, karena pada kisaran tersebut bakteri nitrifikasi dapat tumbuh dengan baik (Crab *et al.* 2007; Hargreaves. 1998). Selama periode pengamatan suhu air limbah berkisar 28-29.10 °C dan pH 7.37-8.76, sehingga proses nitrifikasi berjalan dengan baik.

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan tidak berpengaruh signifikan ($p > 0.05$). Pemanfaatan tanaman vetiver dan kangkung sebagai agen fitoremediasi tidak efektif dalam menurunkan konsentrasi TAN dalam limbah cair. Nilai *removal efficiency* TAN pada perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 55.48%, 63.70%, dan 66.96%.

Amonia Bebas (NH_3)

Amonia bebas merupakan bentuk nitrogen yang tidak terionisasi dan toksik terhadap organisme akuatik (Effendi. 2003). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai ammonia bebas selama pengamatan berkisar antara 0.03-0.75 mg/L (Gambar 5).

Konsentrasi ammonia bebas cenderung fluktuatif selama periode pengamatan. Pada akhir pengamatan (hari ke-28) konsentrasi ammonia bebas perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 2.05 mg/L, 1.98 mg/L, dan 1.94 mg/L. Konsentrasi ammonia bebas dalam limbah akan meningkat dengan meningkatnya suhu dan pH. Wahyuningsih *et al.* (2015) menyatakan bahwa 30% dari ammonia total akan berubah menjadi ammonia bebas pada pH diatas 8.75. Selama periode pengamatan nilai pH berkisar antara 7.37-8.76, sehingga konsentrasi ammonia bebas relatif kecil dalam limbah cair.

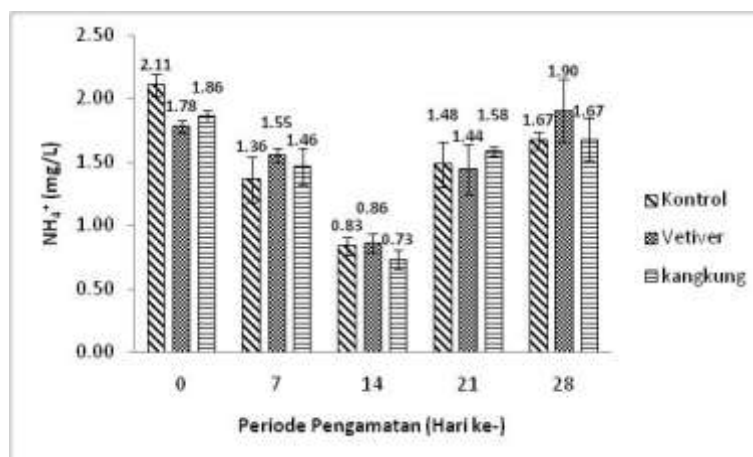


Gambar 5 Perubahan parameter kualitas air NH_3 .

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh signifikan ($p < 0.05$). Pemanfaatan tanaman vetiver dan kangkung sebagai agen fitoremediasi efektif dalam menurunkan konsentrasi NH_3 dalam limbah cair. Nilai *removal efficiency* NH_3 tertinggi pada kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 32.28%, 96.16%, dan 88.79%.

Ammonium (NH_4^+)

Amonium merupakan bentuk nitrogen yang dapat dimanfaatkan langsung oleh tumbuhan (Effendi 2003). Amonium dalam jumlah yang besar dalam limbah cair tidak bersifat toksik bagi tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi ammonium selama priode pengamatan berkisar antara 0.73-2.11 mg/L (Gambar 6).



Gambar 6 Perubahan parameter kualitas air NH_4^+ .

Konsentrasi ammonium cenderung fluktuatif selama priode pengamatan. Pada akhir pengamatan (hari ke-28) konsentrasi ammonium perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 1.67 mg/L, 1.90 mg/L, dan 1.67 mg/L. Penurunan konsentrasi ammonium selama priode pengamatan menunjukkan bahwa tanaman dan algae memanfaatkan ammonium yang terbentuk dalam limbah cair. Konsentrasi ammonium dalam limbah akan meningkat dengan menurunnya suhu dan pH. Wahyuningsih *et al.* (2015) pada pH 7, sebagian besar ammonia total dirubah menjadi amonium. Selama priode pengamatan nilai pH berkisar antara 7.37-8.76, sehingga konsentrasi ammonium lebih tinggi dibandingkan ammonia bebas dalam limbah cair.

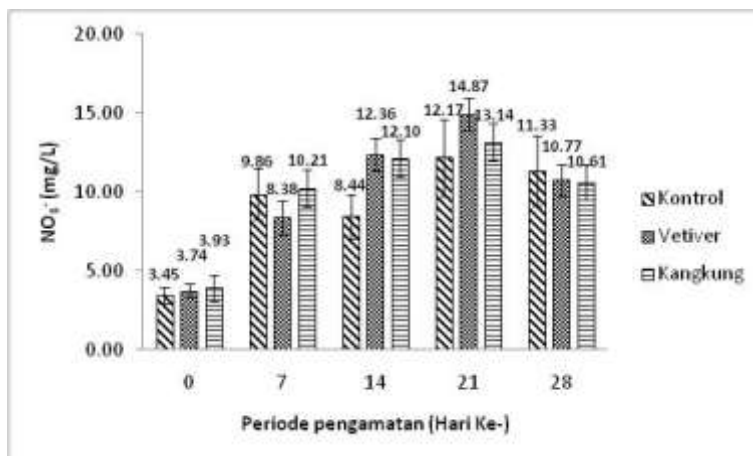
Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan tidak berpengaruh signifikan ($p > 0.05$). Pemanfaatan tanaman vetiver dan kangkung sebagai agen fitoremediasi tidak efektif dalam menurunkan konsentrasi ammonium dalam limbah cair industri kayu lapis. Nilai *removal efficiency* NH_4 tertinggi pada kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 60.37%, 51.70%, dan 60.84%.

Nitrat (NO_3)

Nitrat merupakan bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan algae. Senyawa ini dihasilkan oleh proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat oleh bakteri *Nitrobacter* (Effendi 2003). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat selama priode pengamatan adalah 3.74 – 14.87 mg/L (Gambar 7).

Konsentrasi nitrat selama pengamatan cenderung meningkat. Pada akhir pengamatan (hari ke-28) konsentrasi nitrat pada perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 12.17mg/L, 14.87 mg/L dan 13.14 mg/L. Peningkatan NO_3 diduga karena adanya proses nitrifikasi amonia oleh bakteri, namun nitrat yang dihasilkan tidak dimanfaatkan seluruhnya oleh tanaman sehingga terjadi akumulasi pada limbah cair. Sumber nutrisi bagi tumbuhan selain NO_3 adalah NH_4^+ , namun tanaman dapat mereduksi NH_4^+ lebih cepat dibandingkan NO_3 (Effendi *et al.* 2015).

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan tidak berpengaruh signifikan ($p>0.05$). Pemanfaatan tanaman vetiver dan kangkung sebagai agen fitoremediasi tidak efektif dalam menurunkan konsentrasi NO_3 dalam limbah cair industri kayu lapis. Nilai *removal efficiency* NO_3 tertinggi pada kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 6.86%, 12.58%, dan 19.30%.

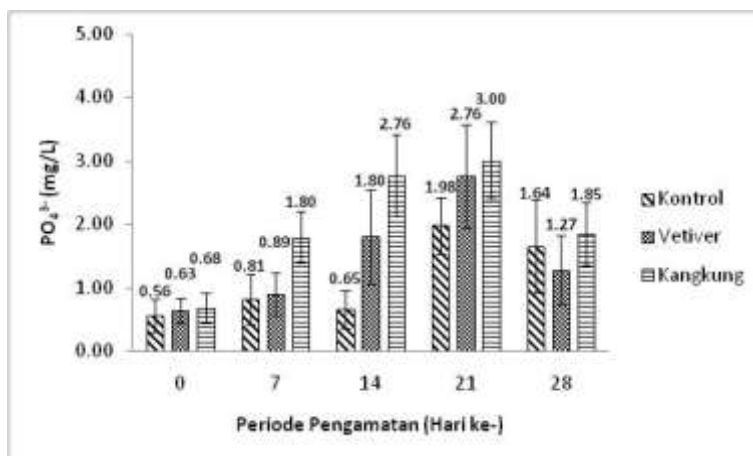


Gambar 7 Perubahan parameter kualitas air NO_3 .

Orthopospat (PO_4)

Ortofosfat merupakan fosfat anorganik yang mampu dimanfaatkan langsung oleh organisme air maupun tumbuhan air. Menurut Effendi (2003) tingkat kesuburan suatu perairan dikategorikan kepada tingkat/level eutrof, apabila kandungan fosfat sebagai ortofosfat pada perairan berkisar antara 0.031-0.1 mg/L. Eutrofikasi merupakan peristiwa ledakan pertumbuhan tanaman air dan zooplankton dalam sistem perairan sehingga menyebabkan air menjadi keruh dan berbau, akibat dari pembusukan tumbuhan dan lumut yang mati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi ortofosfat selama priode pengamatan adalah 0.63-3.00 mg/L (Gambar 8).

Konsentrasi ortofosfat selama pengamatan cenderung meningkat. Pada akhir pengamatan (hari ke-28) kjnsentrasi ortotopospat pada kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 1.98 mg/L, 2.76 mg/L, dan 3.00 mg/L. Peningkatan PO_4 diduga karena kandungan ortopospat dalam limbah cair berlebih, sehingga tanaman membutuhkan waktu yang lebih lama dalam memanfaatkannya. Menurut Boyd (1990), penyerapan fosfor oleh fitoplankton lebih cepat dibandingkan penyerapan oleh tumbuhan air, namun tumbuhan air dapat menyerap dan menyimpan fosfor dalam jumlah yang lebih banyak. Selain itu, perubahan konsentrasi ortofosfat dalam limbah cari dipengaruhi oleh suhu dan pH. Effendi (2003) menyatakan bahwa Konsentrasi ortofosfat akan meningkat dengan peningkatan suhu dan penurunan pH.

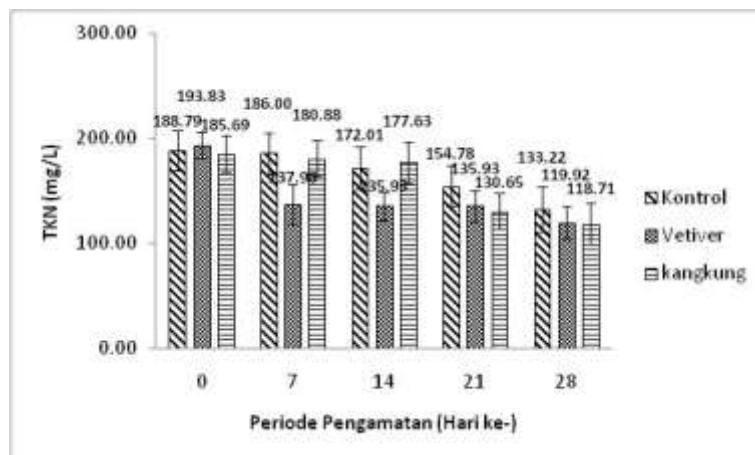


Gambar 8 Perubahan parameter kualitas air PO_4^{3-} .

Hasil analisis statistik menunjukkan perlakuan berpengaruh signifikan ($p < 0.05$). Pemanfaatan tanaman vetiver dan kangkung sebagai agen fitoremediasi efektif dalam menyerap kandungan ortofosfat dalam limbah cair industri kayu lapis. Presentasi penurunan kadar ortopospat pada kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 16.89%, 53.90 % dan 38.39%.

Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

Total Kjeldahl Nitrogen adalah jumlah nitrogen yang terikat dalam ammonia (N-NH_3 dan N-NH_4^+) dan nitrogen dalam zat organik selain (N-NO_2 dan N-NO_3). Nitrogen di perairan terdiri dari dua golongan yang berbeda bentuknya yaitu nitrogen organik dan anorganik (Boyd, 1990). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi TKN selama priode pengamatan berkisar antara 0.73-2.11 mg/L (Gambar 9).



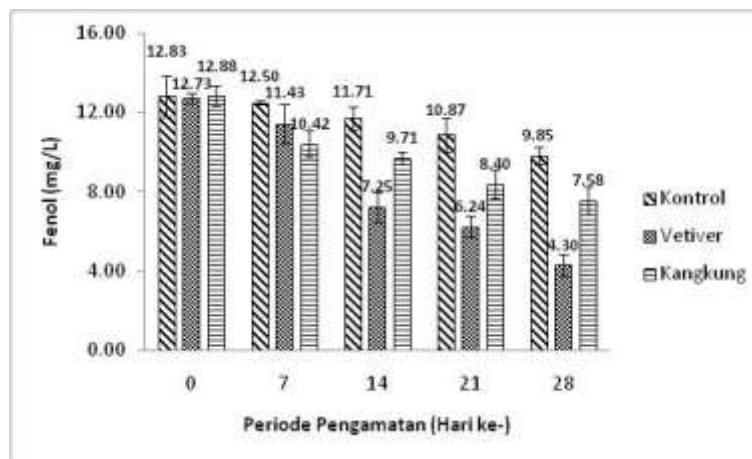
Gambar 9 Perubahan parameter kualitas air TKN.

Konsentraasi TKN cenderung menurun selama priode pengamatan. Konsentrasi TKN perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung pada akhir pengamatan (Hari ke-28) adalah 133.22. mg/L, 119.92 mg/L, dan 118.71 mg/L. Penurunan konsentrasi TKN diduga karena adanya proses penguraian dan penyerapan senyawa nitrogen oleh mikroorganisme dan tanaman pada limbah cair. Mikroorganisme menguraikan senyawa nitrogen dalam limbah cair menjadi energi, bahan sel baru, air, dan karbondioksida (Heriyanto. 2006). Tanaman tidak dapat memanfaatkan secara langsung senyawa nitrogen dalam limbah cair dan harus mengalami fiksasi terlebih dahulu menjadi amonia (NH_3), amonium (NH_4^+), dan nitrat (NO_3^-) (Putri *et al.* 2014).

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh signifikan ($p < 0.05$). Pemanfaatan tanaman vetiver dan kangkung sebagai agen fitoremediasi efektif dalam menurunkan konsentrasi TKN dalam limbah cair. Nilai *removal efficiency* TKN pada kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 29.43%, 38.13%, dan 36.07%.

Fenol

Fenol merupakan senyawa organik yang mempunyai gugus hidroksil yang terikat pada cincin benzena. Senyawa ini merupakan turunan dari benzena melalui penggantian gugus hidrogen dengan hidroksil, sehingga senyawa ini sering disebut hidroksi benzene (Nair *et al.* 2008). Fenol adalah salah satu polutan yang sangat berbahaya dengan tingkat toksisitas yang tinggi bahkan pada konsentrasi yang rendah (Singh *et al.* 2006).



Gambar 10 Perubahan parameter kualitas air Fenol.

Konsentrasi fenol selama priode pengamatan berkisar antara 4.30–12.88 mg/L (Gambar 4). Pada akhir pengamatan (hari ke-28) konsentrasi fenol perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 9.85 mg/L, 4.30 mg/L, dan 7.58 mg/L. Nilai tersebut diatas baku mutu air limbah untuk industri kayu lapis yang mensyaratkan nilai fenol kurang dari 0.25 mg/L (KLHK No 5 tahun 2014). Penurunan konsentrasi fenol dapat terjadi karena adanya degradasi senyawa fenol dengan bantuan mikroorganisme dan tanaman pada limbah cair. Beberapa mikroorganisme memiliki kemampuan mendegradasi fenol seperti bakteri, jamur, khamir, dan alga (Ma *et al.* 2010; Ghanem *et al.* 2009; Wang *et al.* 2009; dan Pinto *et al.* 2002). Beberapa tanaman yang memiliki enzim peroksidase pada akar seperti *Daucus carota* (Araujo *et al.* 2002), *Brassica napus* (Agostini *et al.* 2003) dan *Brassica juncea* (Singh *et al.* 2006) telah digunakan dan terbukti menghilangkan fenol atau turunannya dari larutan.

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung memberikan pengaruh berbeda nyata ($p < 0.05$) terhadap konsentrasi fenol pada limbah cair. Pemanfaatan tanaman vetiver dan kangkung sebagai agen fitoremediasi efektif dalam menurunkan konsentrasi fenol dalam limbah cair industri kayu lapis. Nilai *removal efficiency* fenol perlakuan kontrol, vetiver, dan kangkung adalah 23.24%, 66.19%, dan 41.18%.

Model Matematika

Pada penelitian ini model matematika digunakan untuk memprediksi potensi tanaman *C. zizanioides* (L.) dan *I. aquatica* Forsk dalam meremediasi beberapa parameter kualitas air untuk limbah industri kayu. Model matematika Kumar *et al.* 2005 digunakan pada parameter yang mengalami perubahan secara eksponensial. Parameter kualitas air dan pertumbuhan tanaman yang dapat dimodelkan adalah COD, TSS, Fenol, penambahan berat dan panjang akar.

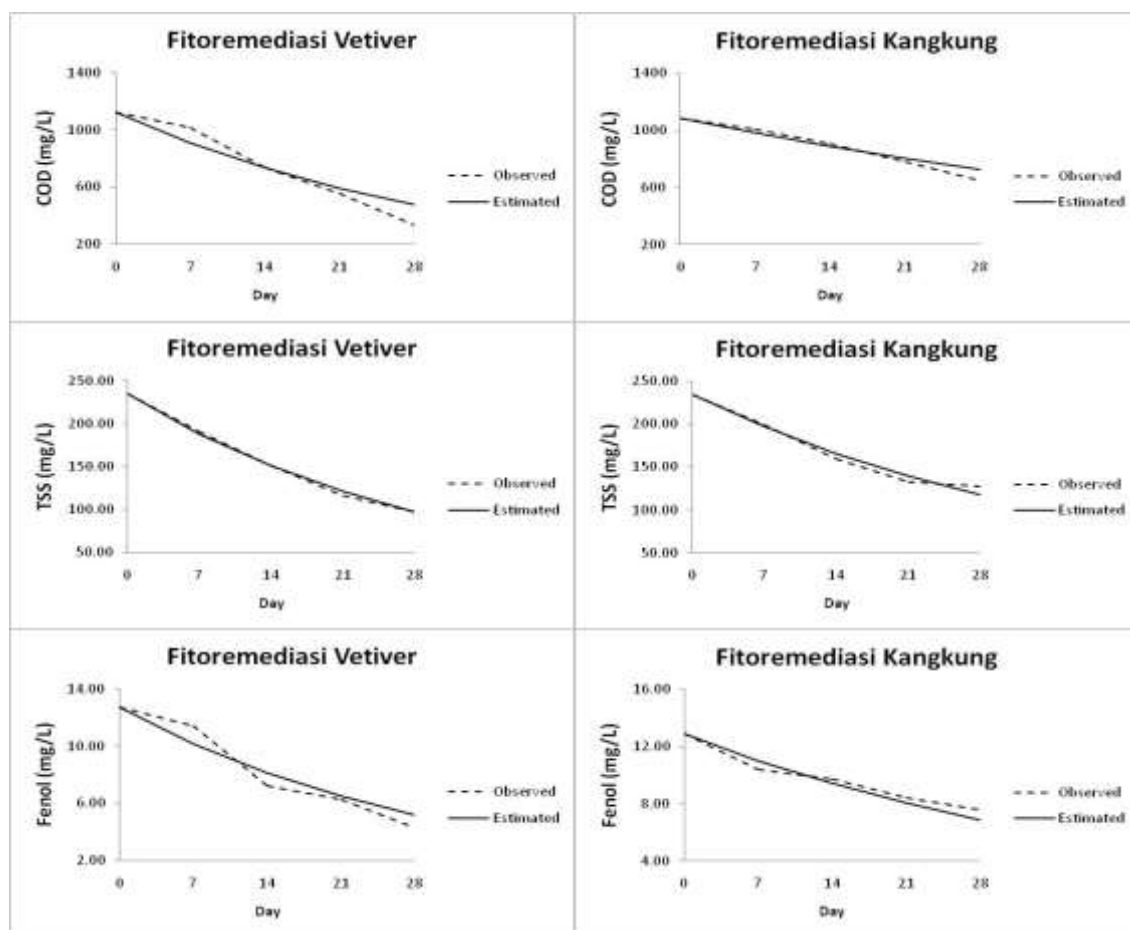
Perbandingan antara nilai estimasi dan nilai pengamatan dari parameter COD, TSS, dan fenol memiliki variasi minimum (Gambar 5). Peningkatan durasi fitoremediasi pada parameter COD, TSS, dan fenol menghasilkan nilai pengamatan yang berbeda dengan nilai estimasi. Hal ini menunjukkan bahwa durasi fitoremediasi tanaman akan mencapai tingkat kesetimbangan penyerapan atau degradasi polutan dalam limbah.

Berdasarkan penelitian ini, model yang diusulkan berguna dalam memprediksi tren potensi fitoremediasi *C. zizanioides* (L.) dan *I. aquatica* Forsk untuk limbah industri kayu dan industri sejenis lainnya pada interval waktu apa pun. Model ini dapat membantu dalam pemantauan cepat terhadap polusi industri. Model matematis yang disajikan di sini menunjukkan ukuran remedial yang cukup akurat untuk pencemaran air limbah industri menggunakan tanaman seperti *C. zizanioides* (L.) dan *I. aquatica* Forsk, yang dapat digunakan secara menguntungkan untuk meremediasi efek buruk limbah cair industri kayu, setidaknya pada basis eksperimental.

Laju Pertumbuhan Tanaman

Pengamatan laju pertumbuhan tanaman dilakukan untuk melihat kondisi tanaman selama periode perlakuan. Laju pertumbuhan relatif tanaman (RGR) berdasarkan berat basah tanaman vetiver dan kangkung adalah 0.011 ± 0.002 g/hari dan 0.007 ± 0.001 g/hari (Tabel 1). Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa penambahan berat basah dan laju pertumbuhan relatif tanaman vetiver dan kangkung berbeda nyata ($p < 0.05$). Hal ini menunjukkan bahwa tanaman vetiver memiliki kemampuan hidup lebih baik dibandingkan dengan tanaman kangkung pada limbah industri kayu. Hasil ini berbeda dengan penelitian Jampeetong *et al.* (2012) yang menunjukkan bahwa nilai RGR tanaman kangkung (0.035 ± 0.002 g/hari) lebih tinggi dibandingkan tanaman vetiver (0.020 ± 0.003 g/hari).

Laju pertumbuhan panjang akar harian (DGR) tanaman vetiver dan kangkung adalah 0.019 ± 0.003 cm/hari dan 0.012 ± 0.006 cm/hari. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa penambahan panjang akar dan laju pertumbuhan panjang akar harian tanaman vetiver dan kangkung berbeda nyata ($p < 0.05$). Hal ini menunjukkan bahwa tanaman vetiver memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menyerap nutrisi dibandingkan dengan kangkung. Effendi *et al.* (2015) menyatakan bahwa akar yang lebih panjang akan memberikan peluang untuk menyerap nutrisi. Selain itu, tanaman vetiver berpotensi sebagai biofilter untuk menyerap bahan organik (Delis *et al.* 2015).



Gambar 11 Nilai estimasi dan pengamatan kualitas air.

Tabel 2 Laju pertumbuhan tanaman

Parameter	Satuan	Jenis Tanaman	
		Vetiver	Kangkung
Berat awal (W_o)	g	30.04±0.09	30.06 ± 0.09
Berat akhir (W_t)	g	40.57±2.10 ^a	36.90±1.19 ^b
Panjang akar awal (H_o)	cm	8.83±0.39	9.33±0.41
Panjang akar akhir (H_t)	cm	9.62±1.09 ^a	7.83±1.53 ^b
RGR	g/hari	0.011±0.002 ^a	0.007±0.001 ^b
DGR	cm/hari	0.019±0.003 ^a	0.012±0.006 ^b

- Huruf *Superscript* merupakan hasil uji Duncan pada taraf 5%

Korelasi Pearson

Hubungan yang menggambarkan efisiensi penyisihan parameter kualitas air (suhu, pH, TSS, COD, TAN, NH_3 , NH_4^+ , TKN, NO_3^- , PO_4^{3-} , dan Fenol) dengan parameter pertumbuhan tanaman (bobot basah, panjang akar, RGR, dan DGR).

Efisiensi COD memiliki korelasi positif terhadap berat dan panjang akar tanaman yaitu 0.977 dan 0.981 (sangat kuat). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensi penyisihan COD pada limbah cair maka semakin tinggi berat dan panjang akar tanaman. Parameter pH memiliki korelasi negatif terhadap penambahan berat dan panjang akar tanaman yaitu -0.833 dan -0.866. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai pH dalam limbah cair maka semakin rendah berat dan panjang akar tanaman. Tanaman vetiver dapat tumbuh pada kondisi lingkungan dengan pH 6-9 (Sigh *et al.* 2014) dan tanaman kangkung 5.5-7 (Lestari. 2013).

Efisiensi penyisihan NH_3 memiliki korelasi positif terhadap berat dan panjang akar tanaman yaitu 0.839 dan 0.797 (sangat kuat). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensi penyisihan NH_3 dalam limbah cair maka semakin tinggi berat dan panjang akar tanaman. Effendi (2003) menyatakan ammonia bebas (NH_3) dalam limbah cair bersifat toksik terhadap organisme perairan, sedangkan amonium (NH_4^+) tidak berbahaya dan merupakan bentuk yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai sumber nutrisi.

Tabel 3 Korelasi parameter kualitas air dan pertumbuhan tanaman.

Parameter	pH	TSS	COD	NH_3	TKN	Fenol	Berat Basah	Panjang Akar
pH	1	-.708*	-.858**	-.859**	-.758*	-.873**	-.873**	-.833**
TSS	-.708*	1	.784**	.820**	.755*	.841**	.841**	.854**
COD	-.858**	.784**	1	.753*	.817**	.977**	.977**	.981**
NH_3	-.859**	.820**	.753*	1	.740*	.839**	.839**	.797**
TKN	-.758*	.755*	.817**	.740*	1	.786**	.786**	.853**
Fenol	-.873**	.841**	.977**	.839**	.786**	1	.966**	.988**
Berat Basah	-.873**	.841**	.977**	.839**	.786**	.966**	1	.966**
Panjang Akar	-.833**	.854**	.981**	.797**	.853**	.988**	.966**	1

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

Efisiensi penyisihan TSS dengan berat dan panjang akar tanaman memiliki korelasi positif yaitu 0.841 dan 0.854 (sangat kuat). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensi penyisihan TSS maka berat dan panjang akar tanaman semakin tinggi. Effendi (2003) menyatakan nilai TSS yang tinggi akan menghambat sinar matahari ke dalam wadah percobaan sehingga mempengaruhi proses respirasi dan proses fotosintesis tanaman menjadi terhambat.

Efisiensi penyisihan fenol dengan berat dan panjang akar tanaman memiliki korelasi positif yaitu 0.966 dan 0.988 (sangat kuat). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensi penyisihan fenol maka bobot basah dan penambahan akar tanaman semakin tinggi. Pada konsentrasi tertentu, fenol dapat menghambat pertumbuhan akar (Ratsch. 1983), akar berwarna coklat (Jha *et al.* 2013), dan perkecambahan biji tanaman (Ibanez *et al.* 2012).

SIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian Potensi Rumput Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.) dan Kangkung (*Ipomoea aquatica* Forsk.) sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Industri Kayu adalah sebagai berikut:

1. Tanaman vetiver dan kangkung memiliki kemampuan meremediasi *Total Suspended Solid* (TSS), *Chemical Oxygen Demand* (COD), amonia bebas (NH_3), orthopospat (PO_4^{3-}), *Total Kjeldahl Nitrogen* (TKN), dan fenol pada limbah industri kayu, removal efficiency tertinggi adalah NH_3 dan terendah TKN.
2. Efisiensi penyisihan Parameter kualitas limbah industri kayu TSS, COD, NH_3 , TKN, dan fenol memiliki korelasi positif terhadap pertumbuhan tanaman berdasarkan berat basah dan panjang akar, sedangkan pH berkorelasi negatif.
3. Tren potensi fitoremediasi *C. zizanioides* (L.) dan *I. aquatica* Forsk dalam mendegradasi COD, TSS, dan fenol untuk limbah industri kayu dapat digambarkan pada model matematika.

DAFTAR PUSTAKA

- [APHA] 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd edition.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*. Jakarta: Kementerian LH.
- Agostini E, Coniglio MS, Milrad SR, Tigier HA, Giulietti AM, 2003. Phytoremediation of 2,4-dichlorophenol by *Brassica napus* hairy root cultures. *J. Biotechnol. Appl. Biochem.* 37: 139–144.
- Aibibu N, Yunguo L, Guangming Z, Xin W, Beibei C, Huaxiao S, Li X. 2010. Cadmium accumulation in vetiveria zizanioides and its effects on growth, physiological and biochemical characters. *Bioresource Technology*. 101(1): 6297–6303.
- Alaerts G, Santika SS. 1987. *Metode Penelitian Air*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional.
- Araujo BS, Charlwood BV, Pletsch M. 2002. Tolerance and metabolism of phenol and chloroderivatives by hairy root cultures of *Daucus carota* L. *Int. Jurnal Environ Pollut.* 117(2): 329–335.
- Boyd CE. 1990. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Brimingham: Birmingham Publishing Co.
- Chen JC, Wang KS, Chen H, Lu CY, Huang LC, Li HC, Peng TH, Chang SH. 2010. Phytoremediation of Cr(III) by *Ipomoea aquatica* (water spinach) from water in the presence of EDTA and chloride: effects of Cr speciation. *J. Biotechnol.* 101(9): 3033-3039.
- Crab R, Avnimelech Y, Defoidt T, Bossier P, Verstraete. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *J. Aquaculture*. 270: 1-14.
- Delis PC, Effendi H, Krisanti M, Hariyadi S. 2015. Treatment of aquaculture wastewater using *Vetiveria zizanioides* (Liliopsida, Poaceae). *Int. J. ACCL Bioflux.* 8(4): 616-625.
- Effendi H, Utomo BA, Darmawangsa GM, Karo-Karo RE. 2015. Fitoremediasi limbah budidaya ikan lele (*Clarias* sp) dengan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) dalam sistem resirkulasi. *J. Ecolab.* 9:47-104.
- Effendi H. 2003. *Telaah Kualitas limbah cair Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fachrurozi M, Utami LB, Suryani D. 2010. Pengaruh variasi biomassa *Pistia stratiotes* L. terhadap penurunan kadar BOD, COD, dan TSS limbah cair tahu di Dusun Klero Sleman Yogyakarta. *J. Kesmas.* 4(1): 12-13.

- Ghanem KM, Al-Garni SM, Al-Shehri AN. 2009. Statistical optimization of cultural conditions by response surface methodology for phenol degradation by a novel *Aspergillus flavus* isolate. *J Biotechnol.* 8: 3576-3583.
- Gunawan, H. 2009. Efisiensi penghilangan detergen dari limbah cuci pakaian oleh tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kiambang (*Salvinia molesta*) [skripsi]. Surabaya: Universitas Surabaya.
- Heriyanto. 2006. Pengaruh rasio COD/TKN pada proses denitrifikasi limbah cair industri perikanan dengan lumpur aktif [Skripsi]. Bogor: Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB.
- Hu MH, Ao YS, Yang XE, Li TQ. 2008. Treating eutrophic water for nutrient reduction using an aquatic macrophyte (*Ipomoea aquatica* Forsk) in a deep flow technique system. *J. Agric. Water Manag.* 95: 607-615.
- Hunt R. 2017. Growth Analysis, Individual Plants. *Encyclopedia. Appl. Plant Sciences.* 1: 421-429.
- Ibanez SG, Alderete LGS, Medina MI, Agostini E. 2012. Phytoremediation of phenol using *Vicia sativa* L. plants and its antioxidative response. *Environmental Science and Pollution Research.* 19(5): 1555-1562.
- Indah LS, Hendarto B, Soedarsono P. 2014. Kemampuan eceng gondok (*Eichhornia* sp), kangkung (*Ipomoea* sp), dan kayu apu (*Pistia* sp) dalam menurunkan bahan organik limbah industri tahu (skala laboratorium). *J. Diponegoro of Maquares.* 3(1): 1–6.
- Jampeetong A, Brix H, Kantawanichkul S. 2012. Effects of inorganic nitrogen forms on growth, morphology, nitrogen uptake capacity and nutrient allocation of four tropical aquatic macrophytes (*Salvinia cucullata*, *Ipomoea aquatica*, *Cyperus involucratus* and *Vetiveria zizanioides*). *J. Aquatic Botany.* 97: 10-16.
- Jha P, Jobby R, Kudale S, Modi N, Dhaneshwar A, Desai N. 2013. Biodegradation of phenol using hairy roots of *Helianthus annuus* L. *International Biodeterioration and Biodegradation.* 77: 106-113.
- Khan S, Ahmad I, Shah MT, Rehman SH, Khaliq A. 2009. Use of constructed wetland for the removal of heavy metals from industrial wastewater. *J. Environ Manage.* 90: 3451.
- Klibanov AM, Tu TM, Scott KP. 1983. Peroxidase catalysed removal of phenol from coal-conversion waste waters. *J. Science.* 221: 259–261.
- Kumar K, Dube KK, Rai JPN. 2005. Mathematical model for phytoremediation of pulp and paper industry wastewater. *J. Sci. Ind. Res.* 64: 717-721.
- Lee SY, Ahmad SA, Mustapha SR, Abdullah JO. 2017. Ability of *Ipomoea aquatica* Forssk. to remediate phenol in water and effects of phenol on the plant's growth. *J. Sci. & Technol.* 25(2): 441 – 452.
- Lestari W. 2013. Penggunaan *Ipomoea aquatica* Forsk. untuk fitoremediasi limbah rumah tangga. *Semirata 2013 FMIPA Universitas Lampung.* Lampung, Indonesia. pp: 441–446.
- Ma H, Li G, Fang P, Zhang Y, Xu D. 2010. Identification of phenol-degrading *Nocardia* sp. strain C-14-1 and characterization of its ring-cleavage 2,3- dioxygenase. *International Journal of Biology.* 2:79-83.
- Mulia MR. 2005. *Kesehatan Lingkungan.* Jakarta: Graha Ilmu.
- Nair CI, Jayachandran K, Shashidar S. 2008. Biodegradation of phenol. *African Journal of Biotechnology* 7: 4951- 4958.
- Pinto G, Pollio A, Previtera L, Temussi F. 2002. Biodegradation of phenols by microalgae. *Biotechnology Letters.* 24: 2047–2051.
- Purnamawati. 2015. *Penurunan kadar rhodamin B dalam air limbah dengan biofiltrasi sistem tanaman* [tesis]. Bali: Pascasarjana Universitas Udayana.
- Putri FDM, Widyastuti E, Christiani. 2014. Hubungan perbandingan total nitrogen dan total fosfor dengan kelimpahan *Chrysophyta* di perairan waduk panglima besar Soedirman, Banjarnegara. *J. Scripta biologica.* 1(1): 96-101.
- Rahadian R, Sutrisno E, Sumiyati S. 2017. Efisiensi penurunan COD dan TSS dengan fitoremediasi menggunakan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L) Studi Kasus: Limbah Laundry. *J. Teknik Lingkungan.* 3(6): 1-8.
- Ratsch HC. 1983. Interlaboratory root elongation testing of toxic substances on selected plant species. *J. Env. Protection Agency.* 600: 3-85.

- Ridha MT, Cruz EM. 2001. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. *J. Aquaculture Engineering*. 24: 157-166.
- Singh S, Melo JS, Eapen S, D'Souza SF. 2006. Phenol removal by *Brassica juncea* hairy roots: role of inherent peroxidase and H₂O₂. *J. Biotechnol*. 123 (1): 43–49.
- Singh S, Melo JS, Eapen S, D'Souza SF. 2008. Potential of vetiver (*Vetiveria zizanoides* L. Nash) for phytoremediation of phenol. *J. Ecotoxicology and Environmental Safety*. 71: 671–676.
- Strickland JDH, Parsons TR. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada.
- Surtiningsih. 2009. Mengenal lebih dekat rumput vetiver. *Bul BPKSDM*. 2: 16.
- Terry N, Banuelos GS. 2010. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. USA: Lewis Publisher.
- Truong P. 2000. The global input of vetiver grass technology on the environment. In: *Proceedings of the Second International Conference on Vetiver, Bangkok*. pp: 46–57.
- Wahyuningsih S, Effendi H, Wardiatno Y. 2015. Nitrogen removal of aquaculture wastewater in aquaponic recirculation system. *Int. J. ACCL Bioflux*. 8(4): 491-499.
- Wang G, Wen J, Li M, Qiu C. 2009. Biodegradation of phenol and m-cresol by *Candida albicans* PDY-07 under anaerobic condition. *J Ind Microbiol Biotechnol* 36: 809–814.
- Wang KS, Huang LC, Lee HS, Chen PY, Chang SH. 2008. Phytoextraction of cadmium by *Ipomoea aquatica* (water spinach) in hydroponic solution: effects of cadmium speciation. *J. Chemosphere*. 72(4):666-672.